

## 天空の鏡

木村 龍治\*

### 1. はじめに

この連載記事の企画に関わったので、連載の趣旨を多少述べてみたい。この企画は、キーワードを手がかりに、気象学の入門的解説を行う目的で出発した。最初は、アルファベット26文字を頭文字にもつキーワードを選び、それを足がかりにして、気象システム全体を見渡せるような連載を計画した。しかし、執筆者が長年気象の研究をしていると、独自の気象世界というもの形成される。第1回の執筆者は廣田 勇氏、第2回の執筆者は近藤純正氏であるが、それぞれ、廣田ワールド、近藤ワールドともいべきものが感じられる。そのため、没個性のキーワードを足がかりにして、没個性の入門解説を連載するのは不可能に近いことが分かった。編集部でかなり議論した結果、各執筆者が自由にキーワードを選んで、それぞれの気象ワールドを展開していただくほうが面白い内容になるのではないかという結論になった。それで、執筆者が持ち回りで、独自の視点から気象を語ることにした。

私の場合、気象の仕組みをできるだけ単純なモデルで理解しようと努めてきた。もともと、気象システムはひどく複雑なもので、それを単純化すれば、気象システムでなくなってしまう。一方、自分の頭は単純なものしか受けつけない。この矛盾にどう折り合いをつけるか、悩ましい問題ではある。その中でも、気象の特徴を感じる瞬間はいくつかあった。そのような視点で、私なりに理解した気象を語ることはできないだろうか。

この連載の特徴が、執筆者の自由な発想にあるのであれば、キーワードの意味を拡張解釈して、(言葉で

はなく) 特定の現象を選び、その現象を考察することによって、気象世界に接近するという発想があり得るのではないかと思った。その試みとして、まず、天空の鏡を取り上げてみたい。

### 2. 天空の鏡

グーグル・アースで、南米ボリビアを上空から観察してみよう。南西部に、白い斑点のようなものが見えるだろう。接近すると、砂漠の中に、広大な空白地帯(文字通り真っ白で何も無い地域)がある。そこは、世界で最大の塩原(えんげん)である。ウユニ塩原という。普通は干上がっているが、雨が降ると景色が一変する。雨水によって、ウユニ塩原全体が一時的に湖になるのである。湖といっても深さがあるわけではない。ウユニ塩原の大きさは、大雑把に言って、南北100 km程度である。そこに、10 mmの雨が降ると、深さ1 cmの水たまりができる。浅いから自由に歩けるが、水平の広がりには100 kmもあるから、もしも、水たまりの中央部で迷ったら、大変なことになる。歩けども、歩けども、水たまりが続くわけで、水たまりの砂漠という感じである。さらに悪いことに、この水たまりの水面は反射率が高く、見渡すかぎり一面の鏡と化す。その鏡は、空を反転して足下に映すから、上にも下にも空が広がり、宇宙空間に投げ出されたような錯覚に陥る。その壮大な景色は、2009年6月13日にNHKのテレビ番組ワンダー・ワンダーで紹介された。

### 3. なぜ鏡になるのか

なぜ、水面が鏡のようになるのだろうか。広い水面ということであれば、わざわざボリビアに行かなくとも、日本にもある。琵琶湖などはかなり広い。もっと

\* Ryuji KIMURA, 放送大学。

© 2011 日本気象学会

広い水面ということであれば、海面もある。しかし、琵琶湖や海面が鏡のように空を映し出した、という話は聞いたことがない。その理由は、水面が平面になっていないためであろう。湖でも、海でも、通常は波立って凸凹している。しかし、凸凹しているなら、凸凹しているなりに、歪んだ像を映し出してしかるべきではないか。そのようなことが起こらないのはなぜだろうか。

第1図は、水面に入射した光線の入射角と反射率の関係を示したものである(柴田 1999)。反射率は光線の振動面によって多少異なるが、偏光を問題にしない場合は、2種の反射率の平均値を反射率とする(第1図の太い実線)。この結果によれば、水面における反射率は、入射角度が70度を超えると、急激に大きくなる。水面を斜めに見れば見るほど、水面は鏡面に近くなる、ということである。

ウユニ塩原の場合、波立たない水面が広い範囲に広がっていることが鏡になる理由である。波立たない理由は、水深が浅いからである。深さが1 cm 以下であれば、さざ波のような波長の短い波は立つことがあ

ても、普通の湖や海面に見られるような大きい波が立つことはない。

#### 4. 水平な地形の形成

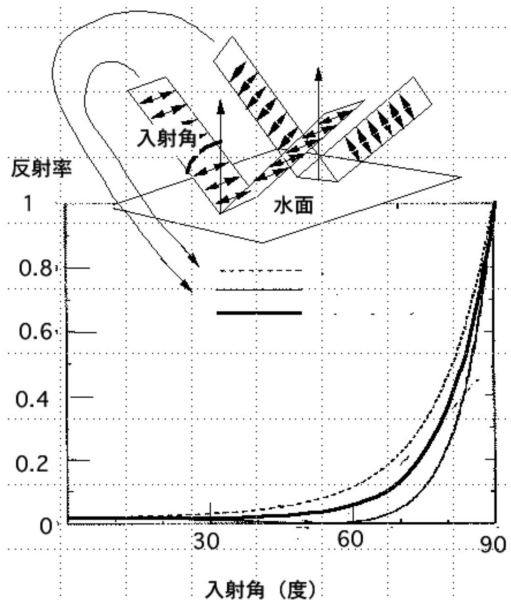
雨が降った後の水たまりは珍しい現象ではないが、水たまりが100 km も広がるのは尋常ではない。なぜ、そのような広範囲の水たまりができるのだろうか。もちろん、塩原が水平面だからである。

水平面とは、水面と平行な面のことである。ウユニ湖の湖底の高低差は、厳密な水平面に対して50 cm しかないというから、驚くべき水平面である。しかも、この水平面が海拔3700 m の高地に存在している。かつて、そこは海であった。地殻が隆起し、持ちあげられた海水が干上がってしまった。海面が水平面を保ちながら蒸発したために、広大な水平面の地形ができたのである。実は、現在でも、塩原の内部には地下水が充満している。雨季に水溜まりができると、恐らく表面の塩が溶けて、蒸発するときに、水平面を維持するメカニズムがあるのでないかと想像される。

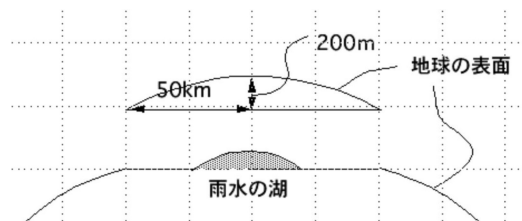
#### 5. 球面と平面

地球は球形なので、水平面というのは、実は、球面である。それ故、ウユニ湖の湖面は、厳密に言えば、凸面鏡になっている。仮に、ウユニ塩原が厳密な平面であったらどうなるのか想像してみよう。

地球の表面から、半径50 km の凸レンズ状の地形を切り取って、幾何学的な平面を作ってみよう(第2図)。すると、凸レンズ状の地形の中心における厚さは約200 m になる。凸レンズ状の地形を切り取った後にできる平面に雨が降ったことを考えてみよう。話を具体的にするために、半径50 km の円形領域に10 mm の雨が降ったとする。その体積は、 $7.854 \times 10^7 \text{ m}^3$  である。これだけの体積の雨が平面の地形に降ると、どのような現象が起こるだろうか。



第1図 水面における反射率(太い実線)(柴田 1999)。細い実線と破線は、それぞれ、電場の振動面(板で表した入射光線内の矢印)が直交する偏光の反射率である。入射角とは、光線と水面の垂直線のなす角度である。



第2図 完全な平面にしたウユニ塩原にできる雨水の湖。

厳密な平面は、水面と平行ではない。水面は球面をしているはずだから、平面の湖底に、凸レンズ状の雨水が貯まるはずである（第2図）。中心の深さを  $H$ 、半径を  $L$ 、水面の曲率半径（=地球の半径）を  $R$ 、雨水の体積を  $V$  としよう。  $H \ll R$  の場合、  $V = \pi H^2 R$ 、  $L^2 = 2RH$  の関係が成り立つ。この式に  $V = 7.854 \times 10^7 \text{m}^3$ 、  $R = 6.4 \times 10^6 \text{m}$  を代入すると、おおよそ、  $H = 2 \text{m}$ 、  $L = 5 \text{km}$  を得る。何と、直径10 km、最深部2 mの遠浅の湖になる。それを宇宙から見れば、広大な空白域の中央に、目玉のような湖が出現することになるだろう。その占める面積は、ウユニ塩原の面積のわずか1%である。実際の塩原は球面であるために、全体が水で覆われる。

### 6. ジオイド

翻って、地球の海洋のことを考える。平均水深3.7 kmで、地球表面の7割を覆っている。海面の全表面積（  $3.62 \times 10^{14} \text{m}^2$  ）を円形と仮定すれば、半径は約1万 kmである。水深1に対して、2700倍の広がりを持つ。ウユニ湖ほどではないにしろ、膜のような薄い水の層である。その理由は、海底（=地球の表面）が水面と平行だからである。すなわち、海水の下に存在する固体地球は、巨大な水滴の形とほぼ等しい。

スペースシャトルの内部のような無重量状態の空間に静かに浮かぶ水滴は球形になる。水の表面張力の効果による。もしも、表面張力がなければ、任意の形になるだろう。しかし、水滴が巨大になると、自分自身の万有引力を感じるようになる。それで、やはり球形になる。天体の形がすべて球形なのは、自己重力の効果による。地球の場合、自転しているので、完全な球形ではない。遠心力の効果で赤道方向にやや膨らんだ

形をしている。その形をジオイドという。回転楕円体に近い。楕円といっても、極半径は6357 km、赤道半径は6378 kmであるから、赤道の膨らみはごくわずかである。

### 7. 大気圏の広がり

大気は地球全体を覆っている。地上気圧は海面高度であれば、どこでも、おおよそ1気圧である。地球上のどこでも、同じ量の大气が積もっていることを意味する。そのため、海面高度を水平方向に移動すれば、どこまで移動しても、気圧は約1気圧である。それに対して、鉛直方向に移動すれば、10 km上空に移動しただけで、もはや酸素吸入なしには生きていけない。地球における生物の生存可能域（ハビタブル・ゾーン）は、水平方向には地球全体に及び、鉛直方向には、厚さ10 kmより薄い。水平の広がり比べて、厚さがきわめて薄い大気圏のハビタブル・ゾーンは、ウユニ湖の水たまりがどこまでも続くのに似ているような気がする。

### 8. ウユニ塩原に学んだこと

- 1) 水平面とはジオイド面を意味する。
- 2) 固体地球の表面はジオイド面に近い。
- 3) 大気圏は、水平方向には、地球全体をおおう程広大な面積がほぼ均質であるが、高さ方向には、10 kmも上空にいけば、人間の住めない世界になる。大気圏の縦横比が極端なのは、固体地球がジオイド面に近いためである。

### 参考文献

柴田清孝, 1999: 光の気象学. 朝倉書店, 182pp.